

С. І. БУХКАЛО, С. П. ІГЛІН, В. О. ОЛЬХОВСЬКА

АНАЛІЗ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІЗНОВИДІВ МАЙОНЕЗУ

У матеріалах статті розглянуті можливості визначення реологічних властивостей для технологічних процесів виробництва майонезу. Розробки проведені з метою вибору сучасних високоефективних науково-обґрунтованих технологій: 1) різновидів технології та їх закономірностей з урахуванням специфічних особливостей компонентів; 2) на різних стадіях проектування і обґрунтування моделей устаткування. Представлені приклади і деякі особливості можливих рішень, які засновані на експериментальних даних розробки механізмів процесів і їх наукового обґрунтування у вигляді об'єктів технології. Проблеми технології майонезів розглядається у вигляді складних комплексних процесів, їх досліджень, аналізу енерго- і ресурсозберігаючих складових. Проаналізовано умови застосування реологічних властивостей та їх параметри, сформовано рекомендації для вибору реологічної моделі конкретного неньютонівського середовища.

Ключові слова: технологія майонезу; реологічні моделі; специфічні особливості виробництва.

С. И. БУХКАЛО, С. П. ИГЛИН, В. О. ОЛЬХОВСКАЯ

АНАЛИЗ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЛЯ РАЗНОВИДНОСТЕЙ МАЙОНЕЗА

В материалах статьи рассмотрены возможности определения реологических свойств для технологических процессов производства майонеза. Разработки проведены с целью выбора современных высокоэффективных научно-обоснованных технологий: 1) разновидностей технологии и их закономерностей с учетом специфических особенностей компонентов; 2) на различных стадиях проектирования и обоснования моделей оборудования. Представлены примеры и некоторые особенности возможных решений, которые основаны на экспериментальных данных разработки механизмов процессов и их научного обоснования в виде объектов технологии. Проблемы технологии майонезов рассматривается в виде сложных комплексных процессов, их исследований, анализа энерго- и ресурсосберегающих составляющих. Проанализированы условия применения реологических свойств и их параметры, сформированы рекомендации для выбора реологических моделей конкретной неньютонической среды продукта.

hnologii, osvit технология майонеза; реологические модели; специфические особенности производства.

S. I. BUKHALO, S. P. IGLIN, V. O. OLKHOVSKA

ANALYSIS RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MAYONNAISE MASS

The materials presented of innovative development opportunities determination of rheological properties for technological processes of mayonnaise production. The developments have been carried out with the aim of selecting modern highly efficient science-based technologies: 1) types of technology and their regularities, taking into account specific features of the components; 2) at different stages of design and justification of equipment models. Examples and some features of possible solutions are presented, which are based on experimental data of the development of process mechanisms and their scientific substantiation in the form of objects of technology. The materials are devoted to the results of researches of properties of technical and technological innovations of modern systems as object studies the possibility of complex properties in the development system increasing the economic efficiency of new sources. A review of the literature and the necessary articles written on the subject: as technologies and develop and become more complex, energy needs increase greatly; types and evidence-based methods of new material resource, as well as the possibility of calculating the basic set of main indicators are classified; identified possible areas of work in obtaining the necessary results. The conditions of application of rheological models and their parameters are analyzed, recommendations in relation to the selection of model for a particular non-Newtonian fluid are formed.

Keywords: technological processes of mayonnaise production; rheological models; scientifically sound methods.

Вступ. Виробництво майонезу та майонезних соусів – динамічно зростаюче багатотоннажне виробництво з щорічним приростом на 7–8%. Для комплексу фізичних властивостей різновидів майонезів реологічні (структурно-механічні) властивості є дуже важливими: вони характеризують агрегатний стан, дисперсність, будову, структуру і вид взаємодії всередині продукту [1–5].

Застосування реологічних вимірювань та їх аналіз з метою визначення моделей у виробництві майонезу дуже різноманітні: інженерні (гідродинамічні, геометричні, кінематичні) розрахунки технологічного обладнання, насамперед таких, як логістичні – трубопроводи, насоси; теплообмінні – теплообмінники тощо; визначення функціональних можливостей інгредієнтів під час

розробки продукту; контроль якості сировини, напівфабрикатів і кінцевих продуктів; випробування властивостей матеріалів під час збереження; оцінка структури продукту з кореляцією його якісних показників; аналіз реологічних рівнянь стану або фундаментальних рівнянь та ін. Серед неньютонівських рідин зустрічаються матеріали, різноманітні за своїми реологічними властивостями – залежно від його стану і умов навантаження вони проявляють різні реологічні властивості. Наприклад, в процесі технологічної обробки один і той самий продукт переходить із одного реологічного стану в інший, часто протилежний за своїми властивостями до першого.

© Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська В.О., 2020

Вдосконалення усього технологічного комплексу неможливе без врахування реологічних властивостей речовин в тому діапазоні напружень (зсуву), які застосовуються в технологічних апаратах. Дані реологічних вимірювань дають змогу інтенсифікувати технологічні процеси і забезпечують необхідний об'єм безперервного виробництва продукції з одночасним покращанням її якості [6–8].

Загальна характеристика особливостей сировини та продукту. Майонез – багатокомпонентний харчовий продукт, це сметаноподібна дрібнодисперсна емульсія типу «олія в воді». Його виготовляють з рафінованих дезодорованих рослинних олій з додаванням води, сухого молока, яєчного порошку, цукру, емульгатору, стабілізатору, смакових добавок і пряностей. Залежно від складу й призначення майонези підрозділяють на: 1) закусочні – столові, із прянощами, з добавками; 2) десертні – замість оцтової кислоти вводять лимонну, солодкі добавки (фруктово-ягідні повідла) і харчові есенції; 3) дієтичні – цукор замінений ксилітом або сорбітом. Найбільшим попитом користується густий майонез із жирністю 67% – до таких відноситься й традиційно популярний «Провансаль» (табл. 1).

Основний інгредієнт майонезу – рослинне рафіноване й дезодороване масло, саме на нього приходиться основна собівартість продукту. За консистенцією майонези можуть бути: 1) сметаноподібними – Провансаль, Молочний, із прянощами та інші; пастоподібними – у майонез типу Провансаль додають казеїн, яєчний жовток у порошок, а частину рослинного масла заміняють гідрогенізованим жиром; 2) порошкоподібними – одержують шляхом сублімаційного або розпилювального сушіння високодисперсної майонезної емульсії, приготовленої на основі відповідних рецептурних компонентів.

Майонез виготовляють з додаванням пряностей і фруктових наповнювачів, наприклад: із хроном, червоним перцем, коріандром, томатною пастою, лимонною есенцією, різного роду фруктовими соками та ін. Майонез виробляють завдяки змішуванню різних компонентів і їх наступної гомогенізації, при якій частки рослинного масла

розчиняються в частках води, розщеплюючись до 5 мікронів (при звичайному змішуванні це неможливо). Термін зберігання майонезу всього 1 місяць, але при використанні спеціальних добавок-емульгаторів його можна збільшити до декількох місяців.

Узагальнена функціональна схема виробництва майонезу (рис. 1) незалежно від апаратного оформлення процесу має підготовчі, основні та заключні стадії. До ієрархії-класифікації важливих стадій систем виробництва майонезів відносять: підготовка окремих компонентів рецептурного складу; підготовка пасти-основи, що емульгує та структурує; підготовка «грубої» емульсії; підготовка, дрібнодисперсної емульсії (гомогенізація); введення смакових і ароматичних добавок, які неможливо було ввести на попередніх стадіях. Виробництво майонезу починається з підготовки й дозування рецептурних компонентів. Також дозується необхідна кількість води в головний бак-змішувач. Потім треба провести готування гірчично-молочної пасти. Для цього в одному баку (змішувачі) змішують воду, сухе молоко, гірчичний порошок, цукровий пісок і соду. Після завантаження інгредієнтів включають систему перемішування суміші, отриману суміш пастеризують і перекачують в основний бак-гомогенізатор. При наявності додаткового бака готують яєчну пасту: для цього змішують воду і яєчний порошок, нагріваючи суміш до температури 65 °С, охоложену масу перекачують у головний змішувач-гомогенізатор. Далі в головний змішувач подається рослинне масло. Одночасно із цим готується сольовий розчин і за аналогічною схемою готується розчин оцтової кислоти в малому змішувачі відповідно до рецептури. В отриманий оцтовий розчин додається сольовий розчин і також ретельно перемішується, надходячи в основну ємність-гомогенізатор. Потім готується первісна «груба» емульсія – для цього отримана суміш перемішується. Візуально ця емульсія повинна мати однорідний вигляд і не розшаровуватися при слабкому перемішуванні. Але це ще не готовий майонез. Груба емульсія повинна пройти процес гомогенізації, що здійснюється завдяки багаторазовому прокачуванню суміші через однойменний пристрій. У результаті чого й виходить вже готовий майонез.

Таблиця 1 – Приклади рецептури деяких різновидів майонезів

Сировина і матеріали	Масова доля компонентів, %		
	«Провансаль»	«Любительський»	«Салатний»
Масло дезодороване	65,4	46,0	35,0
Яєчний порошок	5,0	5,0	6,0
Молоко сухе знежирене	1,6	1,6	2,5
Цукор (пісок)	1,05	1,5	3,0
Сіль поварена харчова	1,0–1,3	1,1	1,5–2,0
Гірчичний порошок	0,75	0,25–0,75	1,2
Оцтова кислота (80%)	0,55–0,75	0,65	0,55–0,75
Сода харчова	0,05	0,05	0,05
Альгінат натрію	–	0–0,05	1,5–2,0
Вода	24,15–23,65	43,85–42,85	24,15–23,65

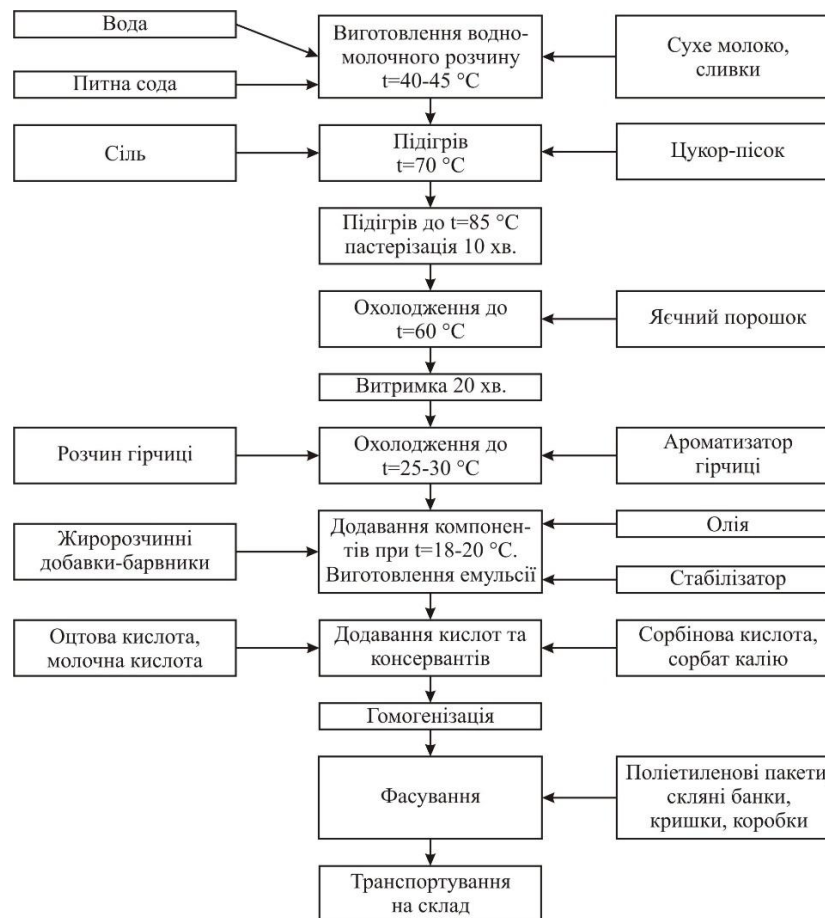


Рис. 1. Функціональна схема виготовлення майонезу

З партії майонезу відбирається проба: вона повинна бути зовсім однорідної, без розшарувань, грудочок, і мати характерну для неї в'язкість, а також колір, смак і запах. Потім майонез необхідно перекачати в спеціальну ємність для готової продукції, звільнивши головний бак для нового циклу. Зараз практично будь-яке устаткування, що продається, дозволяє одержувати високоякісний майонез, але тут важливо знайти точне співвідношення: майонез повинен бути якісним, і одночасно дешевим – саме тоді він буде користуватися підвищеним попитом [9–12].

Реологічні показники консистенції емульсійних продуктів, які проявляють властивості неньютонівських рідин проводять з метою оцінки консистенції емульсійних жирових продуктів і, тим самим, забезпечують контроль необхідних структурно-механічних характеристик продукту.

Визначені необхідні експериментальні характеристики з реологічних властивостей різновидів майонезів не завжди, наприклад, мають криву течії, яку можна описати одним рівнянням – тоді реологічні характеристики можна визначити для окремих інтервалів напруги або деформації. Таким чином, коли експериментальна крива не описується одним рівнянням, її розбивають на ланки та апроксимують різними рівняннями на різних ланках.

Умовами стикування різних гілок теоретичної кривої є неперервність та, можливо, гладкість.

Параметри моделі (коефіцієнти, що входять у рівняння, та точки перемикання різних аналітичних виглядів) знаходяться з методу найменших квадратів, що є наслідком гіпотез математичної статистики, які у нас виконуються:

1. Всі вимірювання незалежні.
2. Під час вимірювань немає систематичних похибок та промахів.
3. На результати вимірювань впливає багато дрібних випадкових факторів, серед яких немає переважних. Тоді згідно з центральною граничною теоремою теорії ймовірностей результати вимірювань розподілені за нормальних законом.
4. Всі вимірювання рівноточні.

Адекватність математичної моделі з m параметрами можна оцінити за її вибірковою дисперсією, яка обчислюється за формулою: $S^2 = L_{\min}/f$, де L_{\min} – сума квадратів відхилень експериментальних значень від теоретичних, а f – кількість ступенів волі, яка дорівнює кількості даних мінус кількість параметрів моделі: $f = n - m$.

Для побудови теоретичних залежностей ми використовували математичний пакет MATLAB, в якому є функція `nlinfilt` для нелінійної апроксимації.

Щоб її запустити, треба передати їй абсциси та ординати експериментальних точок, вигляд функції математичної моделі та початкову точку для пошуку мінімуму суми квадратів. Експериментальні дані для залежності $D_1(\tau)$ показані на рис. 2. Серед запропонованих моделей найкраще підходить ступенева: $D_1 = k\tau^n$. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_1 = 0.00033818 \cdot \tau^{2.07494285}.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 1903290$.

Експериментальні дані для залежності $D_2(\tau)$ показані на рис. 3. Тут теж підбиралася ступенева модель. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_2 = 0.00000175 \cdot \tau^{2.66663476}.$$

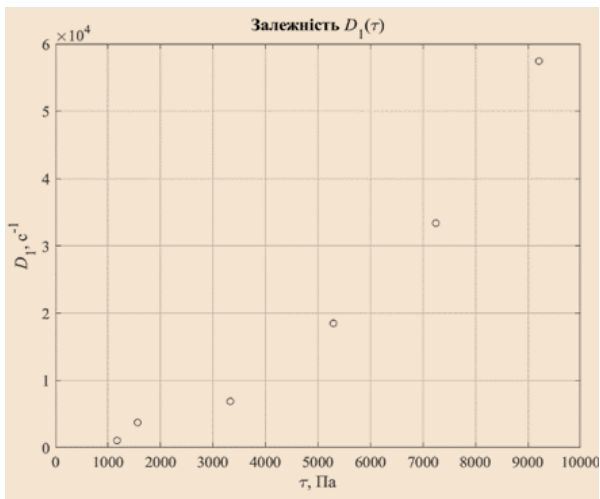


Рис. 2. Експериментальні дані для залежності $D_1(\tau)$: Майонез «Столовий»

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 3.048 \times 10^7$.

Експериментальні дані для залежності $D_3(\tau)$ показані на рис. 4. Тут теж підбиралася ступенева модель. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_3 = 0.00105525 \cdot \tau^{2.08983716}.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 2.13 \times 10^8$.

Експериментальні дані для залежності $D_4(\tau)$ показані на рис. 5. Тут теж підбиралася ступенева модель. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_4 = 0.00027574 \cdot \tau^{2.12973529}.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 1.173 \times 10^8$.

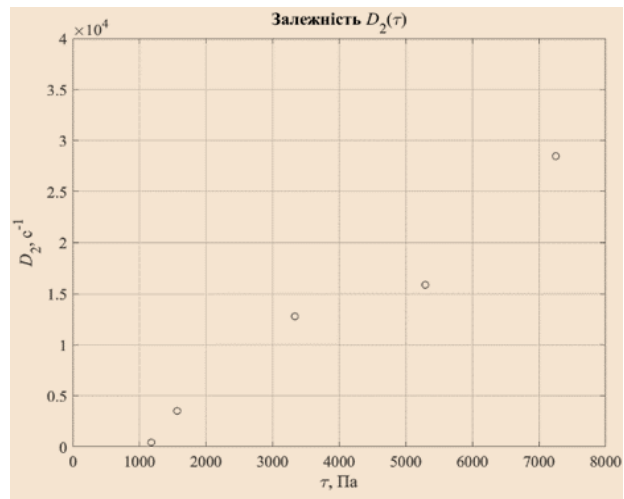


Рис. 3. Експериментальні дані для залежності $D_2(\tau)$: Майонез «Провансаль 1»

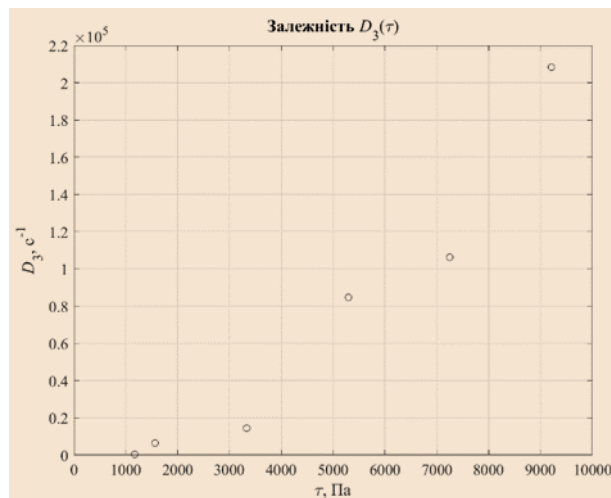


Рис. 4. Експериментальні дані для залежності $D_3(\tau)$: Майонез «Домашній для дітей»

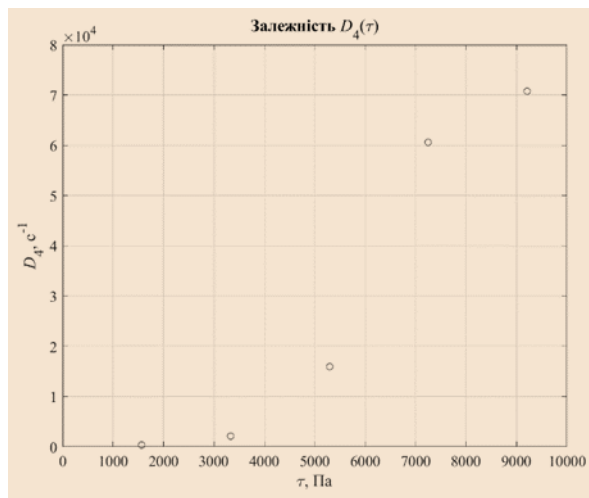
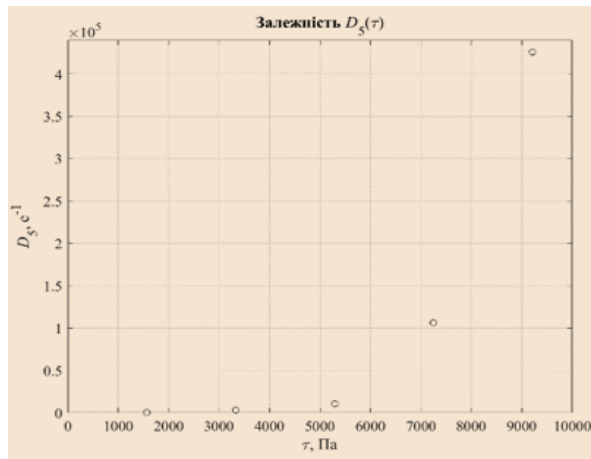


Рис. 5. Експериментальні дані для залежності $D_4(\tau)$: Майонезний соус «Легкий 1»

Рис. 6. Експериментальні дані для залежності $D_5(\tau)$: Майонез «Провансаль2»

Експериментальні дані для залежності $D_5(\tau)$ показані на рис. 6. Тут ступенева модель не підходить: на графіку експериментальних даних ми бачимо спочатку лінійну ділянку, а потім вже ступеневу. Тому будемо підбирати лінійно-ступеневу модель (модель з перемиканням) у такому вигляді:

$$D_5 = a\tau, \text{ якщо } \tau \leq \tau_0; D_5 = a\tau + k(\tau - \tau_0)^n, \text{ якщо } \tau > \tau_0.$$

Визначена за цією моделлю функція $D_5(\tau)$ є неперервною та гладкою у точці τ_0 . Невідомих параметрів моделі тут 4: це τ_0 , a , k та n . За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_5 = 1.62904108 \cdot \tau, \text{ якщо } \tau \leq 5389.997;$$

$$D_5 = 1.62904108 \cdot \tau + 0.01959872 \cdot (\tau - 5389.997)^{2.043834}, \text{ якщо } \tau > 5389.997.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 1.3076 \times 10^7$.

Експериментальні дані для залежності $D_6(\tau)$ показані на рис. 7. Тут теж підбиралася лінійно-ступенева модель з перемиканням, як і для $D_5(\tau)$. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_6 = 2.192727 \cdot \tau, \text{ якщо } \tau \leq 5443.154;$$

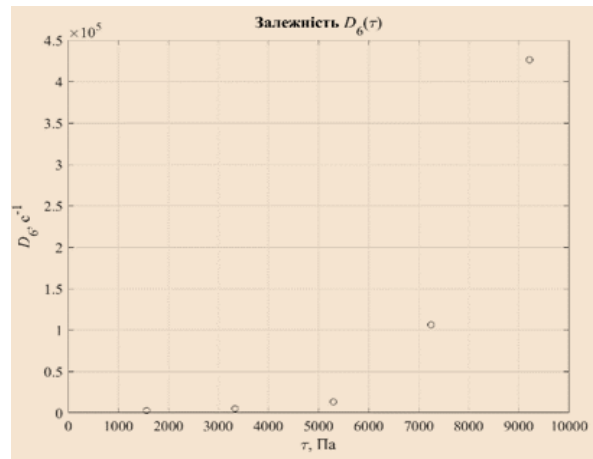
$$D_6 = 2.192727 \cdot \tau + 0.01971012 \cdot (\tau - 5443.154)^{2.045088}, \text{ якщо } \tau > 5443.154.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 9866866$. Експериментальні дані для залежності $D_7(\tau)$ показані на рис. 8. Тут на малюнку чітко видно, що є два відрізки ламаної прямої. Тому будемо підбирати лінійно-лінійну модель з перемиканням, але з точкою зламу:

$$D_7 = a\tau, \text{ якщо } \tau \leq \tau_0; D_7 = a\tau + b(\tau - \tau_0), \text{ якщо } \tau > \tau_0.$$

Визначена за цією моделлю функція $D_7(\tau)$ є неперервною в точці τ_0 , але набуває там зламу.

Невідомих параметрів моделі тут 3: це τ_0 , a та b .

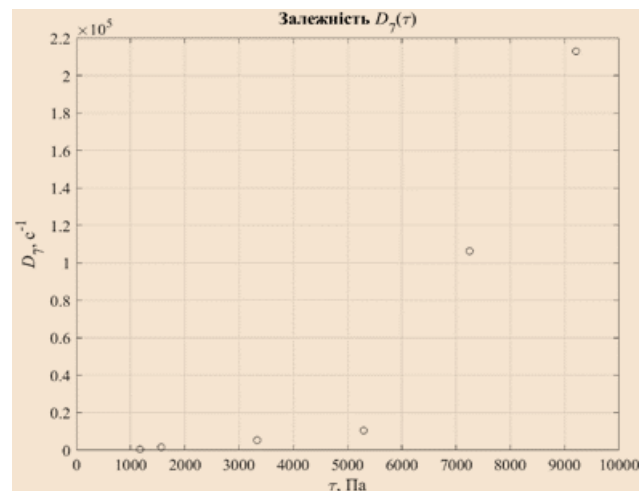
Рис. 7. Експериментальні дані для залежності $D_6(\tau)$: Майонезний соус «Сімейний»

За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_7 = 1.79664397 \cdot \tau, \text{ якщо } \tau \leq 5478.3648;$$

$$D_7 = 1.79664397 \cdot \tau + 52.611 \cdot (\tau - 5478.3648), \text{ якщо } \tau > 5478.3648.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 2149338$.

Рис. 8. Експериментальні дані для залежності $D_7(\tau)$: Майонезний соус «Легкий2»

Ефективну в'язкість η (Па·с) як результат виміру для дослідження випробуваного середовища при температурі T °С у момент часу t обчислюють за формулою:

$$\eta = \tau / D,$$

де τ – напруга зрушення, Па; D – середня швидкість деформації зрушення, с^{-1} .

Властивості в'язкості випробуваного середовища при даній температурі визначаються кривою ефективної в'язкості, що встановлює залежність ефективної в'язкості від середньої швидкості деформації зрушення.

Як відомо в'язкість неньютонівських рідин при заданих температурах та тиску не залишається незмінною, а залежить від швидкості деформації та інших факторів, тому залежність напруги зрушення від швидкості зсуву має нелінійний характер (рис. 9). Але слід відзначити, що одна й та ж речовина залежно, наприклад, від концентрації може проявляти різні види течії.

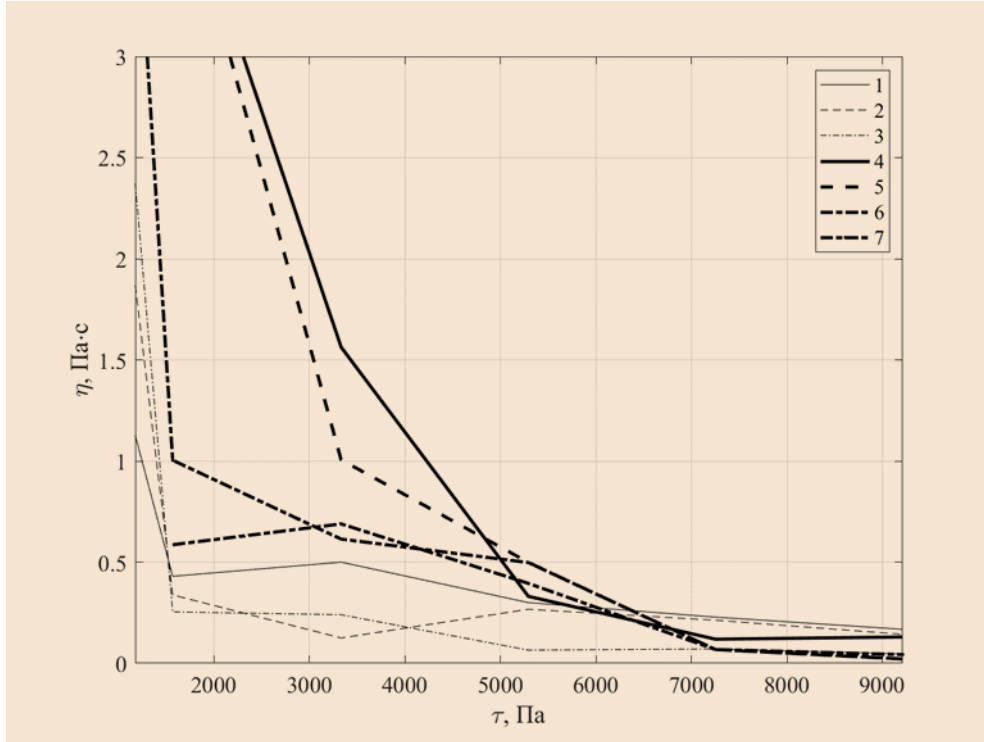


Рис. 9. Експериментальні дані залежності $\eta(\tau)$ для різновидів майонезу: «Столовий» (1), «Провансаль» – відповідно 1(2) та 2(5), «Домашній для дітей» (3); майонезних соусів «Легкий 1,2» (4, 7), «Сімейний» (6)

При $D=0$, відповідно при $\alpha_0=0$ (α – кут нахилу дотичної до кривої), в'язкість стає нескінченно великою. Але практично знаходять кінцеве значення цієї в'язкості – при $n=1$ степінний закон зводиться до виразу Ньютона.

Степінний закон описує в'язкість різних неньютонівських харчових матеріалів: різновидів майонезу; хлібопекарського тіста; конфетних мас; цукрових сиропів; абрикосового пюре; крохмальних суспензій; томатної пасти; мила та деяких інших. Дисперсні системи при напругах менше граничних поведуть себе як тверді тіла і пружно деформуються при напругах вищих, ніж граничні, стають пластичними, відомі декілька видів пластичної течії.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

На вибір реологічної моделі рідини впливає багато чинників. Найбільш поширеними для опису реологічної поведінки псевдопластичної та в'язкопластичної рідин є моделі Оствальда, Бінгама, Балклі–Гершеля.

Рівняння Оствальда (ступеневий закон) описує криву наступним чином: $\tau = kD^n$ при $n < 1$. Це рівняння є емпіричним, константа k залежить від природи речовини й геометричних розмірів апаратури для виконання вимірів, константа n – це індекс течії.

Ці моделі прийняті за базові для інтерпретації течії неньютонівських рідин в різних галузях промисловості. На додаток до них розроблено багато інших моделей, які можуть застосовуватись для опису конкретних неньютонівських рідин [1–4, 6, 8].

Так, наприклад, моделі Кроса, Рейнера–Філіпова, Ван Вазера, Пауела–Ейрінга тощо корисні для моделювання псевдопластичних режимів на низьких, середніх і високих швидкостях зсуву.

Деякі рівняння, такі як модифіковане рівняння Кесона, узагальнене Балклі–Гершеля корисні для вирішення інженерних проблем в технологічних процесах, де застосовуються в'язкопластичні рідини.

Застосування того чи іншого реологічного рівняння для опису течії реального матеріалу перевіряється експериментально для діапазону швидкостей зсуву, що нас цікавить, і який повинен відповідати швидкостям зсуву, за яких досліджуваний матеріал застосовується в технологічному процесі.

Треба відзначити, що однією із відповідальних і часто складних задач є визначення швидкості зсуву матеріалу в робочих органах технологічних апаратів та машин і відтворення в приладах саме тих швидкостей зсуву, яким він піддається в технологічному обладнанні.

Результати апроксимації експериментальних реологічних кривих показують, що одній і тій самій рідині в певному діапазоні швидкостей зсуву може бути підпорядковано декілька реологічних моделей, які за обраним критерієм не поступаються одна одній. В такому разі питання вибору моделі вирішується, враховуючи область застосування моделі, зручності практичного застосування. Але тоді обрану реологічну модель не можна поширювати на інші умови і швидкості деформації.

Подальші дослідження спрямовані на вивчення таких питань як:

- розширення корисних властивостей можливої сировини, її класифікація-ідентифікація та визначення методів контролю якості;
- вибір науково-обґрунтованих технологій та методів виробництва;
- розробка необхідних технологічних схем та обладнання для переробки сировини;
- вибір підприємств для виробництва і обґрунтування вибору усіх видів ресурсів для реалізації цих проектних рішень;
- забезпечення безпеки пакування та ін.

Ці фактори стимулюють розвинення досліджень з метою розробки сучасної великотоннажної технології отримання якісних та корисних майонезів з різноманітної рослинної сировини. Її впровадження її на Україні [13–21].

Список літератури

1. Каминер А.А., Яхно О.М. Гидромеханика в инженерной практике. – К.: Техніка, 1987. – 175 с.
2. Ellis S.B. Thesis laffayette College, Pa. Cited, 1927, in: Whorlow R.W. Rheological Techniques. Halsted Press. – New York, 1980.
3. Mizrahi S., Berk Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatment // J. Texture Stud. – 1972. – №3. – P. 69–79.
4. Ofoly R.Y., Morgan R.G. Steffe J.F. A generalized rheological model for inelastic foods // J. texture Stud. – 1987. – №18. – P. 213–230.
5. ДСТУ 4287:2005. Майонези. Загальні технічні умови., К.: Держспоживстандарт. 2005. 15 с.
6. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
7. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
8. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
9. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. С. 217.
10. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение. НТУ «ХПИ», Харьков, 2005, – 460 с.
11. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
12. Пріщенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 320.
13. Сирку М.А., Бухкало С.І., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнутова М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
14. Ситник В.В., Яценко Б.С., Бухкало С.І., Сирку М.А., Касьян А.С., Оса О.В. Визначення експериментальних властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 343.
15. Бухкало С.І. Харчові технології у прикладах і задачах. Підручник з грифом МОН. – К.: «Центр учбової літератури», 2019. – 108 с.
16. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442.
17. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., & Perevertaylenko, O.Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.
18. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
19. Sytnik, N., Mazaeva, V., Bilous, O., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Kravchenko, T., & Zakharkiv, S., (2019). Research of oxidative stability of vegetable oils for use in sport nutrition. Technology Audit and Production Reserves. – № 6/3(50), pp. 27–30, 2019. Chemical engineering: reports on research projects doi: 10.15587/2312-8372.2019.187673
20. Бухкало С.І. Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 21(1346). – С. 84–92. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
21. Бухкало С.І. Перспективи розвитку технологій крохмалів з картоплі та кукурудзи. Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 21(1346). – С. 75–83. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.12

References (transliterated)

1. Kaminer A.A., Jahno O.M. *Gidromehanika v inzhenernej praktike*. – K.: Tehnika, 1987. – 175 p.
2. Ellis S.B. Thesis laffayette College, Pa. Cited, 1927, in: Whorlow R.W. *Rheological Techniques*. Halsted Press. – New York, 1980.
3. Mizrahi S., Berk Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatment // *J. Texture Stud.* – 1972. – №3. – Pp. 69–79.
4. Ofoly R.Y., Morgan R.G. Steffe J.F. A generalized rheological model for inelastic foods // *J. texture Stud.* – 1987. – №18. – Pp. 213–230.
5. DSTU 4287:2005. *Majonezi. Zagal'ni tehnicni umovi.*, K.: Derzhspozhivstandart. 2005. 15 p.
6. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah*. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. – 832 p.
7. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi)*. Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
8. Bukhhalo S.I. *Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi)* [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
9. Bukhhalo S.I. *Viznachennja zagal'noї tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019)*, 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 217.
10. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.A., Havin G.L. *Osnovnye tehnologii pishhevih proizvodstv i jenergosberezhenie*. NTU «KhPI», Kharkiv, 2005. – 460 p.
11. Bukhhalo S.I. *Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017)* 17–19 maja 2017. – Kharkiv: Ch. III, p. 14.
12. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Bukhhalo S.I. *Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019)*, 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 320.
13. Sirku M.A., Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. *Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019)*, 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
14. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Bukhhalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. *Viznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019)*, 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 343.
15. Bukhhalo S.I. *Harchovi tehnologii u prikladah i zadachah*. Pidruchnik z grifom MON. – K.: «Centr uchbovoi literaturi», 2019. – 108 c.
16. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 6(11 (102)), 66–73. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>.
17. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyanskyy L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., & Perevertaylenko, O.Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.
18. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
19. Sytnik, N., Mazaeva, V., Bilous, O., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Kravchenko, T., & Zakharkiv, S., (2019). Research of oxidative stability of vegetable oils for use in sport nutrition. *Technology Audit and Production Reserves*. – № 6/3(50), pp. 27–30, 2019. *Chemical engineering: reports on research projects* doi: 10.15587/2312-8372.2019.187673
20. Bukhhalo S.I. *Mozhливosti rozvitku tehnologij modifikovanih krohmaliiv Visnik NTU «KhPI»*. – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346), – pp. 84–92. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
21. Bukhhalo S.I. *Perspektivi rozvitku tehnologij krohmaliiv z kartopli ta kukurudzi. Visnik NTU «KhPI»*. – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346), pp. 75–83. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.12

Надійшла (received) 19.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

Іглін Сергій Петрович (Иглин Сергей Петрович, Iglin Sergii Petrovich) – кандидат технічних наук, професор кафедри прикладної математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9144-7427>; e-mail: bis.khr@gmail.com

Ольховська Вікторія Олегівна (Ольховская Виктория Олеговна, Olkhovska Victoria Olegovna) – студентка ХНУРЕ, м. Харків, Україна.